

I Ketut Warsa
Eka Megawati
Prapti Ira Kumalasari
Junety Monde

Pra Perancangan Flash Tank HHP Boiler Power Plant II (Studi Kasus PT. Pertamina RU V Balikpapan)

PRA PERANCANGAN FLASH TANK HHP BOILER POWER PLANT II (STUDI KASUS PT.PERTAMINA RU V BALIKPAPAN)

FLASH TANK PRE DESIGNED HHP BOILER POWER PLANT II (CASE STUDY PT.PERTAMINA RU V BALIKPAPAN)

I Ketut Warsa^{1*}, Eka Megawati¹, Prapti Ira Kumalasari¹ Junety Monde¹

Teknik Pengolahan Minyak dan Gas, Sekolah Tinggi Teknologi Migas
Jln. Transad KM.08 No. 76 RT.08 Kel. Karang Joang, Balikpapan 76125, Indonesia¹⁾

*email: warsa.iketut@gmail.com

Abstrak

Energi adalah salah satu komponen yang sangat berpengaruh terhadap profit suatu kilang. Mengingat besarnya biaya energi, maka perlu adanya pengelolaan energi. Diharapkan energi dapat dimanfaatkan secara efisien, sehingga akan menurunkan biaya energi dan menaikkan profit kilang. Salah satu pengelolaan energi sebagai konservasi energi yaitu memanfaatkan energi *vapor* (uap) yang dikandung oleh *continuous blowdown* yang dipisahkan oleh suatu alat yaitu berupa *flash tank* yang bertekanan 3,5 bar. *Vapor* (uap) yang terbentuk nantinya sebagai *heat input* HHP Boiler terutama sebagai pemanas *deaerator*. *Flash tank* yang ada selama ini hanya bersifat individu dan *vapor* (uap) yang dihasilkan langsung dibuang ke udara bebas. Dalam perancangan *flash tank*, jenis data yang digunakan dalam penelitian adalah data teknik dan ekonomi. Dari hasil basis perhitungan untuk *continuous blowdown* sebagai *feed* 6,124 lb/sec, diperoleh jumlah massa *vapor* (uap) 1,719 lb/sec, sehingga tinggi *flash tank* 5,38 ft (1,64 m), diameter dalam 2,69 ft (0,82 m) dan berdasarkan standar ASME dan API-ASME dan Materialnya adalah ASTM A 516 Gr.70, maka diperoleh ketebalan dinding 0,25 inc, serta dari keekonomian, dengan adanya *flash tank* dapat menghemat energi sebesar 7.297.979,325 Btu/jam atau setara \$ 8.193,210/tahun dan dari evaluasi ekonomi berdasarkan NPV, IRR, PBP, IP dan BEP yang mana *flash tank* dinilai layak untuk dibangun.

Kata Kunci : Analisis Perancangan, Konservasi Energi, Blowdown HHP Boiler, Nilai Ekonomi

Abstract

Energy is considered as one of the most influential components in giving profit to a refinery. Therefore, energy must be managed efficiently in order to decrease/minimize energy cost and, increase refinery's profit. It is called Energy Conservation. Energy Conservation is carried out by using vapor energy contained in continuous blowdown, then separated by flash tank with a pressure of 3.5 bar. The vapor produced will function as heat input HHP Boiler, especially as deaerator heater. So far, the available flash tank in the refinery is individually operated, and the vapor produced is directly released the air. On the design of flash tank, the data used for the research are technical and economical data. The result of the calculation base of continuous blowdown as feed 6.124 lb/sec, are the obtained number of vapor mass flowrate is 1.719 lb/sec, the height of flash tank is 5.38 ft (1.64 m) and the diameter of it is 2.69 ft (0.82 m). Based on ASME and API-ASME Standards and ASTM A 516 Gr.70 the material used, the thickness of flash tank wall is 0.25 inc. Economically, the use of flash tank can minimize energy cost into 7,297,979.325 Btu/hour or \$ 8,193.210/year. Economical evaluation is done based on NPV, IRR, PBP, IP and BEP for the design of flash tank is feasible to be built.

Keywords: Design Analysis, Energy Conservation, HHP Boiler Blowdown, Economic Value

1. PENDAHULUAN

Hal yang selalu diperbincangkan dan dibahas serta dicoba direalisasikan dalam aktivitas sebuah industri yaitu bagaimana mengoptimalkan energi, karena Setiap upaya penghematan energi betapapun kecilnya berarti menghemat biaya dan mengurangi pencemaran lingkungan serta mendukung program nasional dibidang konservasi energi yang manfaatnya adalah untuk kepentingan kita bersama.

Energi merupakan kebutuhan yang mutlak dan sangat diperlukan untuk suatu proses industri guna menghasilkan suatu produk sesuai dengan yang diinginkan. Salah satunya yaitu sumber energi yang sangat berperan dalam sebuah industri adalah uap, dimana uap tersebut diproduksi dengan menggunakan ketel uap (*boiler*). Uap (produk dari Utilities) selain digunakan untuk penggerak turbin pompa, turbin kompresor, turbin generator, juga dapat digunakan sebagai pemanas atau proses kimia dan kebutuhan lainnya.

Ketel uap (*boiler*) merupakan suatu alat pemanas yang digunakan untuk menaikkan temperatur/panas dari air sehingga sampai pada keadaan jenuhnya menguap menjadi uap jenuh yang bertekanan tinggi yang disebut uap, dimana untuk menaikkan temperatur air ketel uap (*boiler*) dirancang menggunakan bahan bakar oil, gas atau oil dan gas.

Dari fenomena diatas maka pemakaian bahan bakar mengambil porsi sekitar 30-40 % dari biaya operasi keseluruhan atau 80% dari seluruh kebutuhan energi. Mengingat demikian besarnya biaya pemakaian bahan bakar, maka konservasi energi harus dijalankan. Konservasi energi merupakan suatu upaya untuk mengurangi penggunaan energi dengan penghematan dan meminimalkan kehilangan energi dalam proses pengelolaan energi mulai dari eksploitasi, eksplorasi, pengolahan, pengangkutan sampai pada penggunaannya. Program kebijakan konservasi energi untuk kilang minyak dimulai dari saat perancangan proses sampai pada pemilihan peralatan yang tepat. Menyadari akan pentingnya konservasi energi khususnya dalam hal pemakaian bahan bakar, maka peluang-peluang dari konservasi energi tersebut harus segera direalisasikan sedini mungkin.

Peluang tersebut kaitannya terhadap konservasi energi yang salah satunya adalah adanya panas yang tidak dimanfaatkan, dalam hal ini panas yang terkandung dalam *continuous blowdown* dalam bentuk uap, dimana *blowdown* pada dasarnya dilakukan setiap operasional ketel uap (*boiler*) yang mengandung cairan dan uap. *Blowdown* adalah fungsi dari kandungan *impurities* umpan terhadap tekanan dan temperatur operasi.

Di Utilities Power Plant II pada operasi ketel uap (*boiler*), uap yang masuk ke *deaerator* saat ini berasal dari *exhaust turbine boiler feed water pump*, *exhaust turbine force draft fan*, dan *converting/letdown steam* 17/3,5 bar. Untuk itu langkah konservasi energi yang dilakukan adalah mengurangi energi yang berasal dari *converting/letdown steam* 17/3,5 bar dengan memanfaatkan energi uap yang terkandung oleh *continuous blowdown* agar tekanan 2,5 bar dan temperatur 138⁰C di *deaerator* tetap terjaga sesuai dengan kebutuhan operasi.

Berdasarkan hasil penelitian dari Jaelani, D., & Sukmara, S. (2017) Analisis efisiensi boiler dapat dilakukan dengan metode langsung (*direct Metode*) memperhitungkan input dan output. Untuk melakukan analisa kinerja boiler dengan metoda tidak langsung dibutuhkan data ultimate analisis main steam, data analisis *coal flow*, serta beberapa data penunjang lainnya.

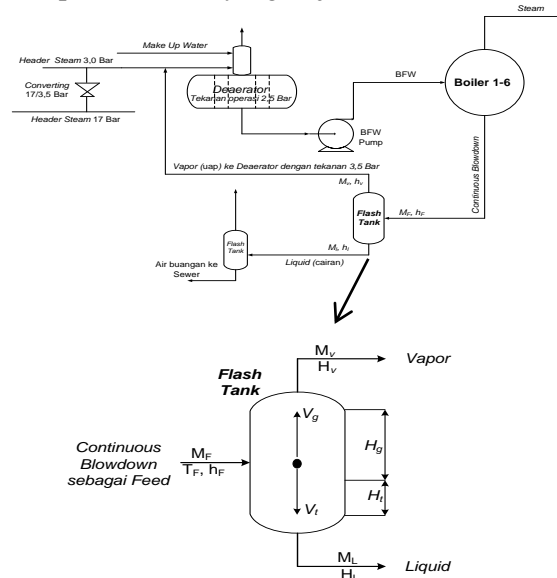
Terdapat 3 (tiga) prinsip yang digunakan untuk pemisahan/separasi gas, cairan maupun padatan yaitu momentum, *gravity settling* dan *coalescing* (penggabungan). Prinsip separasi adalah fase-fase dari fluidanya harus bercampur dan mempunyai *density* yang berbeda. Beberapa peralatan separasi yang ada meliputi *flash tank*, *filter separator*, *scrubber* atau *knockout* dan lain sebagainya.

Flash tank merupakan sebuah bejana yang digunakan untuk memisahkan gas yang terevolusi dari cairan yang dihamburkan dari suatu tekanan yang lebih tinggi ke tekanan yang rendah. Dasar perancangan *flash tank* dalam suatu unit operasi HHP Boiler adalah karena adanya komponen-komponen *impurities* yang terkandung dalam *steam drum* dalam bentuk *continuous blowdown* yang meliputi Senyawa -senyawa yang korosif, *Liquid* (cairan) dan *Vapor* (uap).

Berdasarkan posisinya, *flash tank* pemisah yang digunakan pada dunia industri ada 3 (tiga) yaitu:

1. *Flash tank Horizontal*, yaitu jenis *flash tank* yang posisinya sejajar dengan permukaan bumi.
2. *Flash tank Vertical*, yaitu jenis *flash tank* yang posisinya tegak lurus terhadap permukaan bumi.
3. *Flash tank spherical*, yaitu jenis *flash tank* yang memiliki bentuk bulat seperti bola.

Pada perancangan sebuah peralatan *flash tank*, langkah pertama yang harus diketahui adalah menentukan neraca massa dan panas *continuous blowdown* sebagai bahan umpan (dengan asumsi tidak ada *heat loss* radiasi maupun konveksi yang terjadi).



Gambar 1: Skema neraca massa dan panas pada *Flash Tank*

Neraca massa (*material balance*) :

$$M_F = M_l + M_v, \text{ lb/jam} \dots (1)$$

(Geankoplis, 1983: 487)

Neraca panas (*heat balance*) :

$$M_v = \frac{M_F \cdot (h_F - h_l)}{(h_v - h_l)}, \text{ lb/jam} \dots (2)$$

(Geankoplis, 1983: 487)

Adapun langkah perancangan adalah :

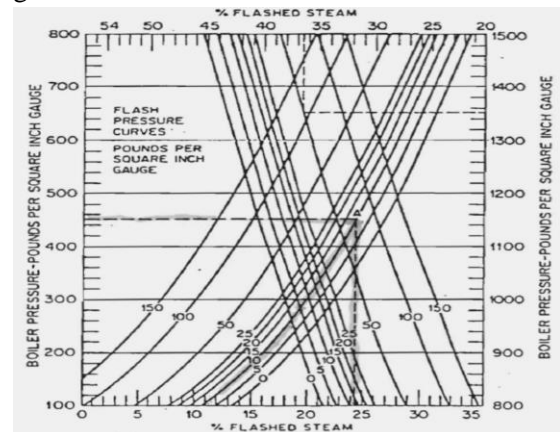
- Perhitungan Laju Alir

$$Q_l = \frac{M_l}{\rho_l}, \text{ ft}^3/\text{det} \dots (4)$$

$$Q_v = \frac{M_v}{\rho_v}, \text{ ft}^3/\text{det} \dots (5)$$

(Geankoplis, 1983: 487)

Untuk massa *vapor* (uap) yang dihasilkan *flash tank* juga dapat ditentukan berdasarkan grafik berikut ini:



Gambar 2. Grafik hubungan antara Boiler, Flash Tank Pressure terhadap % Flashed Vapor (uap)

Disamping itu, disini disajikan pula formula untuk menghitung % *vapor* (uap) yang dihasilkan *flash tank* dalam bentuk :

$$\% \text{ flashed vapor (uap)} = \frac{h_{fcb} - h_{fl}}{h_{fg}} \times 100 \dots (3)$$

(Maguire, 1980: 101)

- Perhitungan kecepatan Terminal (*droplet*)

$$V_t = K_v \sqrt{\frac{\rho_l - \rho_v}{\rho_v}}, \text{ ft/sec} \dots (6)$$

(Evans and Frank, 1874: 154)

- Perhitungan luas penguapan

$$A_v = \frac{Q_v}{V_t}, \text{ ft}^2 \dots (7)$$

(GPSA Engineering Data Book section 7: 7-8)

- Perhitungan diameter dalam

$$D_i = \sqrt{\frac{4 \times A_v}{\pi}}, \text{ ft} \dots (8)$$

(Evans and Frank, 1874: 154)

- Penentuan *volume liquid*
 $V_l = Q_l \times \text{Residence time to fill, ft}^3 \dots (9)$
- Penentuan tinggi *liquid*
 $H_l = \frac{4 \cdot V_l}{\pi \cdot D_i^2}, \text{ft} \dots (10)$
- Penentuan tinggi *vapor* (uap)
 $\frac{H}{D_i} = \frac{H_l + H_v}{D_i} = 2, \dots (11)$
- Penentuan tinggi *flash tank*
 $H = H_l + H_v, \text{ft} \dots (12)$
- Penentuan *volume flash tank*
 $V_{\text{flash tank}} = \frac{2 \cdot D_i \times \pi \times (D_i)^2}{4}, \text{ft}^3 \dots (13)$

Adapun tujuan dari penelitian adalah untuk mengetahui besarnya masa dalam bentuk uap yang dihasilkan dari buangan *continuous blowdown* untuk dapat dimanfaatkan sebagai pemanas *deaerator*, untuk merancang/membuat *flash tank* sebagai bejana pemisah antara cairan dan uap yang kapasitasnya lebih besar serta mengetahui apakah pemasangan fasilitas *flash tank* sebagai bejana pemisah antara cairan dan uap yang kapasitasnya lebih besar yang akan dimanfaatkan uapnya sebagai pemanas *deaerator* dapat berfungsi secara efektif dan efisien.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Sumber data yang digunakan dalam penelitian adalah data sekunder berupa :

- a. Survey pendahuluan, mengidentifikasi dan merumuskan persoalan yang akan dijadikan penelitian. Didapatkan suatu permasalahan yaitu tidak dimanfaatkannya uap yang terbentuk pada masing-masing *flash tank* HHP Boiler di Power Plant II sebagai pemanas *deaerator*.
- b. Studi kepustakaan, bertujuan untuk mendapatkan informasi yang terkait langsung terhadap obyek penelitian. Adapun pustaka yang akan dijadikan referensi adalah yang terkait langsung perancangan *flash tank*, analisis kelayakan proyek yang digunakan menganalisis terhadap *feasible* atau tidaknya.

- c. Studi lapangan, dipergunakan untuk memperoleh informasi sebagai data yang akan dipakai untuk melakukan analisis. Data yang dibutuhkan berkaitan dengan aspek teknis dan ekonomis yang meliputi :

Tabel 1. Data standar BFW dan BW HHP Boiler

Item	Unit	BFW	BW
pH at 25 °C	-	8,5 - 9,5	9,5 - 11,0
Cond.	µs/cm	< 10,0	< 150,0
SiO ₂	ppm	< 0,02	< 2,0
Total Iron	ppm	< 0,02	< 1,5
Cl ⁻	ppm	< 3,0	< 50,0

Tabel 2. Data Analisa Operasional BFW HHP Boiler

Bulan	Item Analisa				
	pH at 25 °C	Cond. µs/cm	SiO ₂ ppm	Total Iron ppm	Cl ⁻ ppm
Jan	8,84	2,83	0,016	0,015	-
Feb	8,89	3,79	0,020	0,010	-
Mar	8,92	3,50	0,021	0,014	-
Apr	9,00	4,01	0,020	0,011	-
May	9,06	4,48	0,017	0,018	-
Jun	8,97	3,50	0,019	0,017	-
Jul	8,89	2,97	0,020	0,013	-
Aug	8,82	2,89	0,027	0,010	-
Sep	8,75	2,66	0,015	0,011	-
Oct	8,73	2,59	0,015	0,012	-
Nov	8,80	2,95	0,036	0,018	-
Dec	8,81	3,19	0,023	0,020	-
Rata-rata	8,87	3,04	0,021	0,014	-

Tabel 3. Data Analisa Operasional BW HHP Boiler

Bulan	Item Analisa				
	pH at 25 °C	Cond. µs/cm	SiO ₂ ppm	Total Iron ppm	Cl ⁻ ppm
Jan	9,66	21,84	1,498	0,045	-
Feb	9,51	17,71	1,703	0,081	-
Mar	9,43	14,32	1,928	0,050	-
Apr	9,45	14,79	1,889	0,056	-
May	9,37	12,49	2,021	0,060	-
Jun	9,12	19,57	2,502	0,071	-
Jul	9,44	15,90	2,047	0,053	-
Aug	9,51	16,42	2,011	0,090	-
Sep	9,58	16,57	1,058	0,064	-
Oct	9,49	16,62	0,801	0,061	-
Nov	9,24	13,62	1,447	0,065	-
Dec	9,20	11,03	1,607	0,089	-
Rata-rata	9,42	15,59	1,630	0,060	-

Tabel 4. Data Operasi Produksi dan Distribusi Steam HHP Boiler

Bulan	Kebutuhan BFW ton	Prod. Steam ton	Kebutuhan Fuel ton	Distribusi Steam (ton) ke		
				Kilang	Onuse PP	as Condensat
Jan	330.986	326.522	26.651	186.156	71.938	71.449
Feb	351.244	346.924	21.548	185.288	58.808	55.993
Mar	208.126	203.95	17.774	171.824	39.132	45.927
Apr	238.057	233.737	19.684	132.824	72.247	51.687
May	295.366	290.902	22.526	143.227	73.487	65.809
Jun	336.252	331.932	25.066	181.855	74.051	69.073
Jul	327.79	323.326	25.417	179.296	75.082	81.969
Aug	326.967	322.503	24.833	171.089	73.34	71.161
Sep	320.229	315.909	24.408	188.36	64.393	74.177
Oct	325.714	321.25	25.203	186.992	60.342	76.937
Nov	325.847	321.527	23.102	173.537	57.314	68.697
Dec	336.422	331.958	23.97	170.416	64.762	81.801
Rata-rata	3.723.000	3.670.440	280.186	2.070.864	784.896	814.68

- d. Data Teknis, diperlukan untuk merancang pemasangan fasilitas *flash tank*, adapun data-data tersebut antara lain:

- 1) *Flash tank* yang mampu dialiri buangan *continuous blowdown* dan buangan lainnya untuk desain tekanan 73 kg/cm²G dan temperatur 300°C. Dicari material/bahan yang sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan untuk jenis fluida yang dilayani.
- 2) Material pipa yang sesuai spesifikasinya untuk melayani buangan *continuous blowdown* dan buangan lainnya untuk desain tekanan 73 kg/cm²G dan temperatur 300°C.
- 3) Instrumentasi yang sesuai kaitannya terhadap perancangan *flash tank*.
- 4) Lokasi dan area yang akan dilaluinya.

- e. Data ekonomi, data aspek ekonomi dibutuhkan untuk menganalisa pembiayaan dan penerimaan/manfaat yang akan diperoleh selama periode yang ditetapkan antara lain pembelian *package flash tank*, pipa, alat instrumentasi, alat pemeliharaan, biaya utilities, tenaga kerja dan lain sebagainya.

- f. Pengolahan data.

- 1) Kelayakan kualitas, dilakukan untuk menentukan kualitas dari pemanfaatan uap yang dihasilkan oleh *flash tank* dengan:
 - a) Merancang fasilitas *flash tank* dan desain peralatan yang mampu menampung buangan *continuous blowdown* dan buangan lainnya

dengan tekanan 69 kg/cm²G dan temperatur 300°C.

- b) Pabrikasi peralatan *flash tank* antara lain pemasangan *package flash tank*, pipa-pipa yang menghubungkan dengan sistem, alat-alat instrumentasi untuk control level, temperatur dan tekanan.

- 2) Kelayakan teknis, untuk mengetahui setelah selesai pemasangan/pabrikasi fasilitas *flash tank* apakah bisa dioperasikan untuk menampung jumlah massa *continuous blowdown* yang berasal dari semua HHP Boiler, begitu pula terhadap uap yang dihasilkannya. Apabila tidak, data akan diolah kembali. Pemasangan fasilitas *flash tank* dilanjutkan karena diperlukan dan pertimbangan aspek konservasi energi dan aspek lingkungan.

- 3) Kelayakan keekonomian, Menentukan biaya pengadaan peralatan utama yang sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan, biaya tenaga kerja selama pelaksanaan pemasangan dan biaya utilitas lainnya selama operasi serta menganalisa besarnya energi panas dalam bentuk uap yang dapat dihasilkan dari perancangan *flash tank* dimanfaatkan sebagai pemanas *deaerator* yang ekuivalen dengan nilai/harga bahan bakar.

Ini juga dilakukan untuk mengetahui hasil kajian dari beberapa aspek antara lain :

- a) Aspek *Net Present Value NPV* : NPV > 0

Rumusnya :

$$NPV = \sum_{t=0}^t \frac{Bt - Ct}{(1+i)^t} \dots \dots \dots (14)$$

(Suharto1997: 427)

- b) Aspek *Internal Rate of Return (IRR)* : IRR > i

Rumusnya :

$$IRR = i' + \left(\frac{NPV - NPV'}{NPV'' - NPV'} \right) \times (i'' - i') \dots \dots (15)$$

(Suharto1997: 427)

- c) Aspek Pay Back Period (PBP) : PBP' < PBP

Rumusnya :

$$\text{Pay Back Period} = \frac{C_f}{A} \dots \dots \dots (16)$$

(Suharto1997: 427)

- d) Aspek Indeks Profitabilitas (IP)
: IP > 1

Rumusnya :

$$\begin{aligned} IP &= \frac{\sum_{t=0}^n \frac{(C)t}{(1+i)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{(C_0)t}{(1+i)^t}} \\ &= \frac{PV_{\text{penerimaan}}}{PV_{\text{pengeluaran}}} \dots (17) \end{aligned}$$

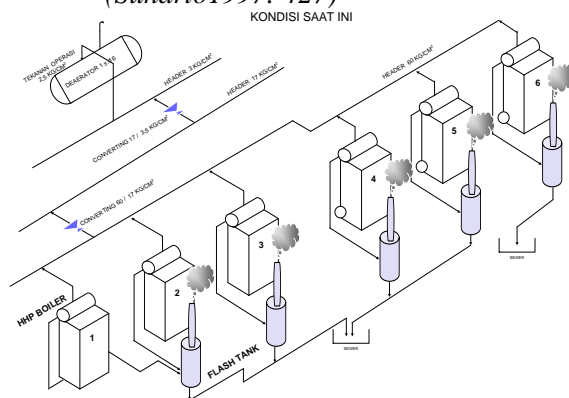
(Suharto1997: 427)

- e) Break Even Point (BEP)

Apabila hasil kajian seperti diatas terpenuhi (feasible), maka proyek layak dijalankan, dan bila tidak maka evaluasi diulang dari langkah data ekonomi.

$$\begin{aligned} BEP &= \frac{F_a + 0,3.R_a}{S_a - V_a - 0,7.R_a} \\ &\times 100\% \dots (18) \end{aligned}$$

(Suharto1997: 427)



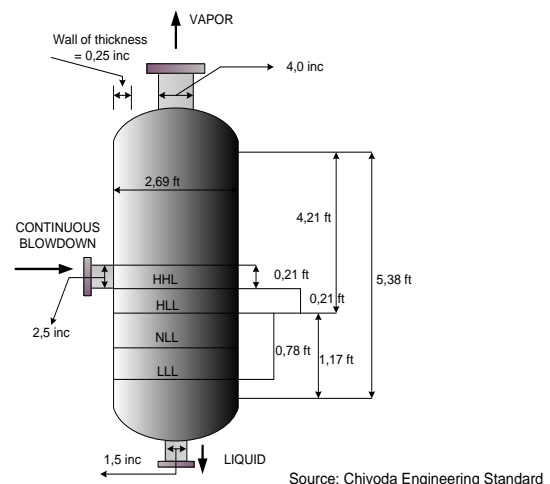
Gambar 3: Isometrik Flash Tank

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil perhitungan dengan data serta gambaran, maka dapat direkap desain basis dari pra perancangan flash tank dapat ditabulasi sebagai berikut :

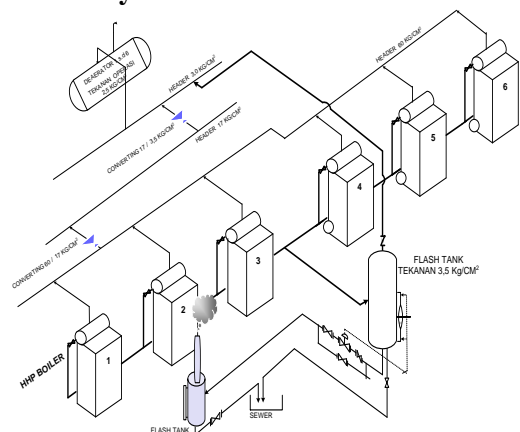
Tabel 5. Data Desain Basis dari Pra Perancangan Flash Tank

No.	Variabel Perancangan	Kondisi	
		Operasi	Rancangan
1	Ketebalan dinding, inc	0,25 (0,021 ft)	
2	Diameter, ft	2,69	
3	Tekanan, kg/cm2.g	3,5 (49,77 Psi)	75 Psi
4	Ketebalan tutup, inc	0,25 (0,021 ft)	
5	Diameter tutup, ft	2,69	
6	Waktu tinggal, menit	2	
7	Volume total, ft3	40,74	
8	Tinggi cairan max., ft	1,17	
9	Tinggi flash tank, ft	5,38	
10	Bahan	ASTM A-516 Gr.70	



Source: Chiyoda Engineering Standard

Gambar 4: Flash Tank Hasil Perancangan dan Ukurannya



Gambar 5: Isometrik Flash Tank Setelah Pra Perancangan

Perbedaan Isometrik Flash Tank sebelum dan setelah perancangan dapat dibandingkan antara Gambar 3 dengan Gambar 5.

Sedangkan dari hasil perhitungan evaluasi ekonomi didapat adalah sebagai berikut :

- Fixed Capital Investment (FCI)
= \$ 52.029,311

- *Total Capital Investment (TCI)*
= \$ 61.217,027
- *Total Production Cost (TPC)*
= \$ 3.433.934,529
- Keuntungan setelah pajak
= \$ 8.193,210/tahun
- *Net Present Value (NPV)*
= \$ 10.298,064
- *Internal Rate of Return (IRR)*
= 13,44 %/tahun
- *Pay Back of Period (PBP)* = 6,35
- *Profitability Index (PI)* = 1,2
- *Break Even Point (BEP)* = 63,07 %

4. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan desain peralatan dan evaluasi pada dan pertimbangan ekonomi serta kebutuhan proses, proyek pembangunan *flash tank* sangat menguntungkan dan layak untuk dibangun. Namun mengingat *flash tank* yang sudah ada mempunyai dimensi mendekati dimensi hasil perhitungan perancangan, maka sebaiknya kita gunakan untuk menampung *continuous blowdown* hasil dari ke 6 HHP Boiler yang operasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Evans, JR, Frank L., 1874. *Equipment Design Handbook for Refineries and Chemical Plants*, Volume 2, Houston Texas, Book Division Gulf Publishing Houston, Texas.
- Gas Processors Suppliers Association (GPSA), Section 7
- Jaelani, D., & Sukmara, S., 2017. Analisa Efisiensi Ketel Uap Pada Unit 2 Pltu 2 Banten Kapasitas 300 Mw. *Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur UNJ*, 4(1), 25-32.
- J. Geankoplis, C., 1983. *Transport Processes and Unit Operations* . second edition. Massachusetts
- Maguire, John J.Cs., 1980. *BETZ Handbook of Industrial Water Conditioning*, Eight Edition, BETZ Laboratories Inc.
- Suharto, I., 1997. *Manajemen Proyek*, Cetakan 2, Jakarta, Erlangga.